打撃音の形状距離を用いた類似性評価に関する基礎的研究

西日本高速道路エンジニアリング四国(株)　○正会員　林　　詳悟
西日本高速道路エンジニアリング四国(株)　　正会員　橋本　和明
西日本高速道路エンジニアリング四国(株)　　正会員　明石　行雄

１．はじめに

コンクリート構造物の維持管理では，打音点検が行われているが，その判定基準は，健全な箇所を清音，浮き・剥離領域を濁音とするのみで，明確な判断基準が存在しない．神内らは，コンクリート構造物の打音点検における損傷判定の新たな評価手法として，打撃音の周波数分布から求める新たな指標（以下，形状距離という）を利用して清音と濁音の類似性を評価することを提案している[1)]．形状距離は，ユークリッド距離と比較して，複数音の類似性を定量的に評価できるものである．なお，打撃音の周波数分布については LPC(Linear Predictive Coefficient)を利用した．

本文は，形状距離による周波数分布の類似性（以下，パターン認識という）を紹介するとともに，実際のはく離領域を模したコンクリート供試体を用いて，パターン認識による適用限界についての評価と，今後の技術的課題について報告する．

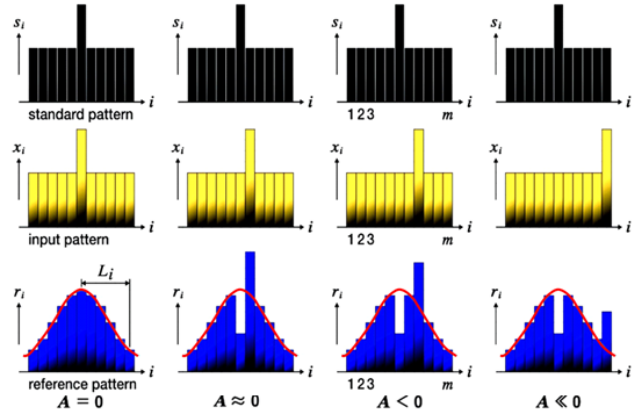
２．形状距離の概要

形状距離は，式(1)のように，二つの音が全く同一となる場合，正規分布となるように基準パターンを設定する．すなわち標準パターン S_i と，入力パターン x_i の差に，正規分布を付加する．（図－１（a））

$$\gamma_i \leftarrow \gamma_i + (x_i - S_i) \quad (i = 1,2,3,\cdots,m) \qquad (1)$$

次に，式(1)により形状変化させた基準パターンにおいて，音の形状変化を付加して，式(2)を用いて尖度の変化量として数値化する．

$$A = \frac{\{\sum_{i=1}^{m}\gamma_i\}\cdot\{\sum_{i=1}^{m}(L_i)^4\cdot\gamma_i\}}{\{\sum_{i=1}^{m}(L_i)^2\cdot\gamma_i\}^2} - 3 \qquad (2)$$



a）同一形状　b）変化小　c）変化中　d）変化大

図－１　基準形状と形状変化例

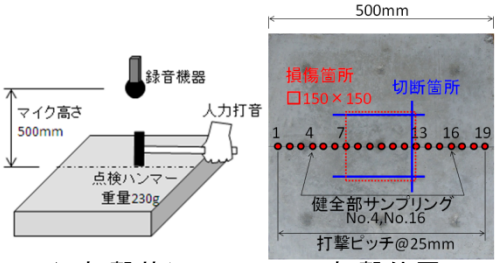
成分位置 j ごとに尖度の変化量 A_j を計算し，(3)式を用いて形状距離 d とする．この形状距離は，ユークリッド距離を基にパターン認識をしたものと比較して判別率が高い．

$$d = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}(A_j)^2} \qquad (3)$$

３．検討内容と形状距離の評価

３．１　実験手順と評価方法

基準となる打撃音（標準音）を，同一供試体の健全部分から 20 点サンプリングする．次に，形状距離の計測対象となる各打撃点を 10 回ずつ連続打撃して，評価箇所のサンプリング行った．解析では，各 10 点データと標準音の形状距離を求め，分布を評価した．録音機器は汎用性を考慮して市販ボイスレコーダー（録音形式＝リニア PCM 方式，サンプリング周波数＝48kHz）とした．供試体に損傷部□150×150×t=1 ㎜を深さ 20 ㎜と 60 ㎜奥に設置したものを 2 種類作製した．打撃強度については騒音計の音圧レベルで 85～90Db の範囲内とした．



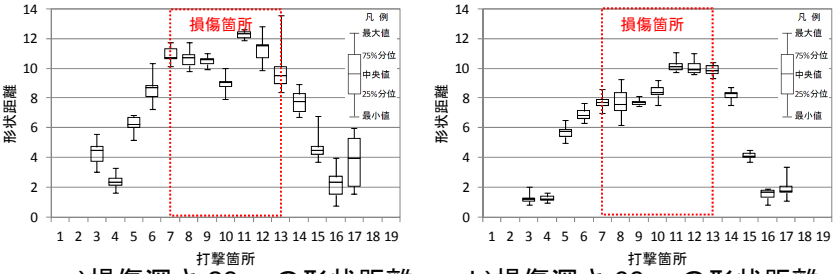
a）打撃状況　b)打撃位置

図－2　検証内容

キーワード：非破壊検査，打撃音，周波数分布，パターン認識，形状距離
連絡先　〒760-0072 高松市花園町三丁目 1 番 1 号　TEL 087-834-1121　FAX 087-834-0150

３．２　判定可能な損傷深さ

損傷深さが 20 ㎜と 60 ㎜の 2 種類の供試体にて形状距離の違いを確認した(図－3)．損傷深さが 60 ㎜になると人間の感覚では判断が困難であった．形状距離で判断すると損傷部の形状距離は健全部の形状距離と比較して大きくなっている．このことから，形状距離を用いると大きさ□150×150×1 ㎜で深さ 60 ㎜までの損傷も検出することが可能と判断した．



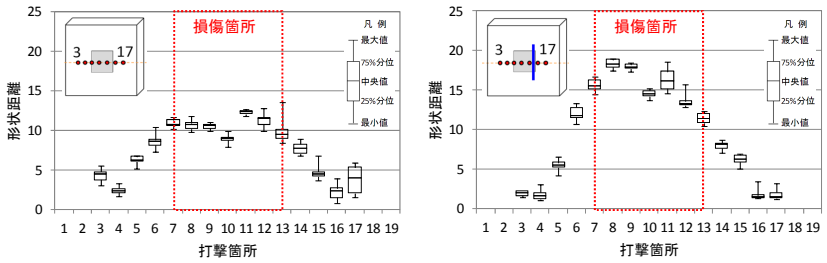
a)損傷深さ 20 ㎜の形状距離　b)損傷深さ 60 ㎜の形状距離

図－３　損傷深さ別の形状距離

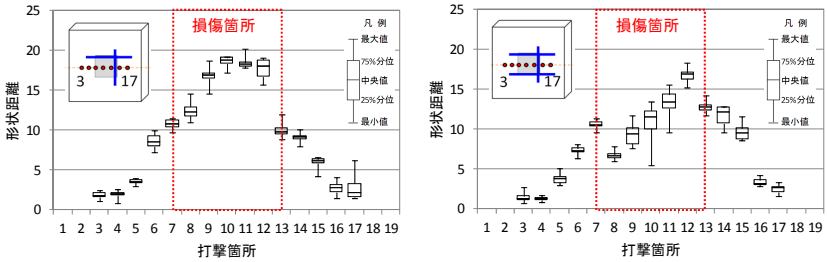
３．３　損傷形態の違いによる判定

鉄筋コンクリートの剥離は，内部鉄筋の腐食・膨張が原因で発生する．鉄筋膨張によって浮きが発生し，その後，剥離ひび割れに進展する．すなわち，浮き・剥離領域の損傷形態が最終的には片持ち梁の状態に変化するため，固有振動数も変化すると推察する．そこで，損傷深さ 20 ㎜の供試体を用いてコンクリート表面からカッターにて損傷範囲の 1 辺ずつを切断して打撃音を録音することとした．

検討の結果を図－４に示す．この結果から，損傷形態の状態に関わらず健全部と損傷部の形状距離には有意な差が確認できた．図-4b)，c)の打撃番号 12 番が大きくなるのがわかる．また損傷の進展に伴い形状距離が大きくなる傾向も見られ，人間の感覚と似ている．しかし，剥離直前状態では損傷領域の形状距離が若干低下する傾向が確認できる．この現象については今後の課題である．



a)浮き状態（剥離ひび割れ無）　b)部分剥離（1 辺切断）



c)剥離進展状態（2 辺切断）　d)剥離直前状態（3 辺切断）

図－4　損傷形態別の形状距離（損傷深さ 20 ㎜）

４．まとめ

（１）形状距離は微妙な周波数分布の変化も定量評価することができるため，人間の感覚で判定困難な深いかぶりの小さな損傷も検出できる．

（２）損傷の進行に伴い形状距離が大きくなる傾向が確認できる．

（３）打撃強度を一定にすることが必要であるため，打撃力を点検員に注意を促すシステムの構築が必要である．

参考文献

１）神内教博，橋本和明，林詳悟，福見稔：打音によるコンクリートの損傷深さの推定，第 68 回土木学会年次学術講演会，VI-101 ,2013.9